

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»  
(ФГБОУ ВО ПГУПС)  
**Калининградский филиал ПГУПС**

**УТВЕРЖДАЮ**

Начальник Управления  
по работе с филиалами



Е.В. Панюшкина  
«10» января 2020 г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
ОП.03 ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА**

**для специальности**

**08.02.10 Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство**

*базовая подготовка,  
на базе среднего общего образования*

*Форма обучения: очная*

*Нормативные сроки обучения: 2 года 10 месяцев*

*Начало подготовки: 2020 год*

г. Калининград  
2020

## Практическое занятие №1

### Плоская система сходящихся сил.

#### Определение равнодействующей плоской системы сходящихся сил

**Цель занятия:** научиться определять равнодействующую плоской системы сходящихся сил в аналитической и графической формах.

#### Ход работы:

1. Записать исходные данные.
2. Нарисовать расчётную схему, согласно исходных данных.
3. Выполнить расчёт в аналитической форме.
4. Выполнить расчёт в графической форме.
5. Сравнить результаты двух решений и вычислить в процентах относительную погрешность графического решения по формуле:

$$\delta = \frac{|R_{gp} - R_{an}|}{R_{an}} \times 100\%$$

Относительная погрешность не должна превышать 5%.

6. Сделать вывод (ответ).

#### Исходные данные к задаче

Определить равнодействующую плоской системы сходящихся сил аналитическим и графическим способами (см. исходные данные и расчётную схему к задаче), а также угол между направлением вектора равнодействующей и положительным направлением оси X.

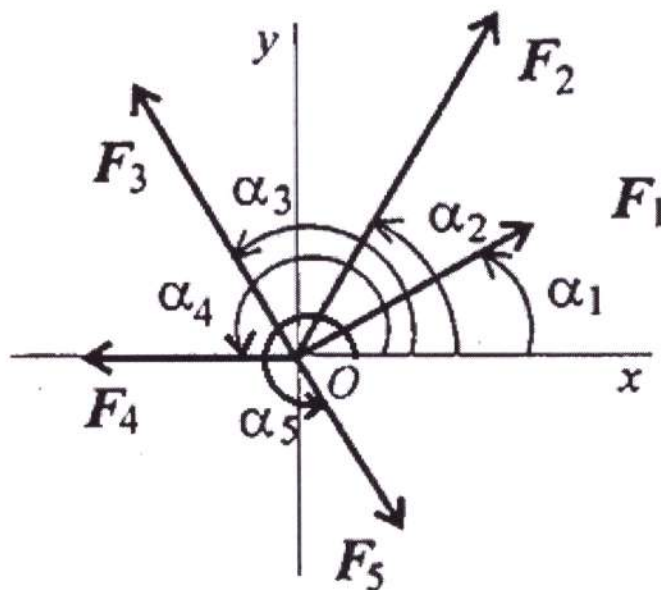


Рисунок 1. Расчётная схема к задаче.

Таблица 1 - Исходные данные

Параметр	Варианты								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$F_1$ , кН	12	8	20	3	6	8	20	12	8
$F_2$ , кН	8	12	5	6	12	12	5	8	12
$F_3$ , кН	6	2	10	12	15	2	10	6	2
$F_4$ , кН	4	10	15	15	3	10	15	4	10
$F_5$ , кН	10	6	10	9	18	6	10	10	6
$\alpha_1$ , град	30	0	0	15	0	30	30	30	0
$\alpha_2$ , град	45	45	60	45	15	45	45	45	60
$\alpha_3$ , град	0	75	75	60	45	0	0	0	75
$\alpha_4$ , град	60	30	150	120	150	60	60	60	50
$\alpha_5$ , град	300	270	210	270	300	300	300	300	10

Таблица 2 - Исходные данные

Параметр	Варианты								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$F_1$ , кН	3	20	12	3	20	8	10	8	2
$F_2$ , кН	6	5	8	6	5	12	9	10	15
$F_3$ , кН	12	10	6	12	10	2	6	2	11
$F_4$ , кН	15	15	4	15	15	10	4	12	15
$F_5$ , кН	9	10	10	9	10	6	12	7	10
$\alpha_1$ , град	0	15	30	0	0	30	30	0	0
$\alpha_2$ , град	60	45	45	15	15	45	45	45	60
$\alpha_3$ , град	75	60	0	45	45	0	0	75	75
$\alpha_4$ , град	15	120	60	150	150	60	60	30	150
$\alpha_5$ , град	20	270	300	300	300	300	300	270	210

Таблица 3 - Исходные данные

Параметр	Варианты								
	19	20	21	22	23	24	25	26	27
$F_1$ , кН	3	16	8	2	13	9	3	4	6
$F_2$ , кН	16	2	15	15	7	14	16	15	18
$F_3$ , кН	10	12	13	14	15	16	17	20	1
$F_4$ , кН	5	6	7	8	9	10	1	2	3
$F_5$ , кН	7	8	9	10	11	20	19	18	15
$\alpha_1$ , град	15	0	30	30	30	0	0	15	30
$\alpha_2$ , град	45	15	45	45	45	60	60	0	45
$\alpha_3$ , град	60	45	0	0	0	75	75	60	0
$\alpha_4$ , град	0	90	60	60	60	150	150	120	60
$\alpha_5$ , град	270	30	300	300	300	210	210	270	300

## Практическое занятие №2

### Плоская система сходящихся сил.

#### Определение реакций шарнирно-стержневой системы

**Цель занятия:** научиться определять реакции связей в аналитической и геометрической формах.

#### Ход работы:

1. Записать исходные данные.
2. Нарисовать расчётную схему, согласно исходных данных, с изображением неизвестных реакций.
3. Выполнить расчёт в аналитической форме.
4. Выполнить расчёт в графической форме.
5. Сравнить результаты двух решений и вычислить в процентах относительную погрешность графического решения по формуле:

$$\delta = \frac{|R_{gp} - R_{an}|}{R_{an}} \times 100\%$$

Относительная погрешность не должна превышать 5%.

6. Сделать вывод (ответ).

#### Исходные данные к задаче

Определить по вариантам (см. исходные данные и расчётные схемы к задаче) усилия в стержнях конструкции, удерживающих груз  $F$

Таблица 1 – Исходные данные

Вариант		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Схема		I	III	IV	VI	V	VIII	VII	X	IX
Сила F (кН)		50	50	50	50	50	50	50	50	50
Углы в градусах	$\alpha$	60	50	-	40	40	40	40	60	35
	$\beta$	-	-	100	75	70	110	110	105	-
	$\gamma$	100	35	55	25	95	135	80	70	65

Вариант		10	11	12	13	14	15	16	17	18
Схема		II	I	III	IV	VI	V	VIII	VII	X
Сила F (кН)		60	60	60	60	60	60	60	60	60
Углы в градусах	$\alpha$	30	55	55	-	35	35	30	30	65
	$\beta$	65	-	-	110	65	80	120	120	95
	$\gamma$	35	110	25	60	35	100	130	85	50

Вариант		19	20	21	22	23	24	25	26	27
Схема		IX	II	I	IV	III	VI	V	IX	II
Сила F (кН)		100	100	100	100	100	100	100	80	80
Углы в градусах	$\alpha$	40	35	70	-	65	40	50	25	30
	$\beta$	-	65	-	120	-	70	65	-	70
	$\gamma$	55	40	120	40	30	20	105	50	40

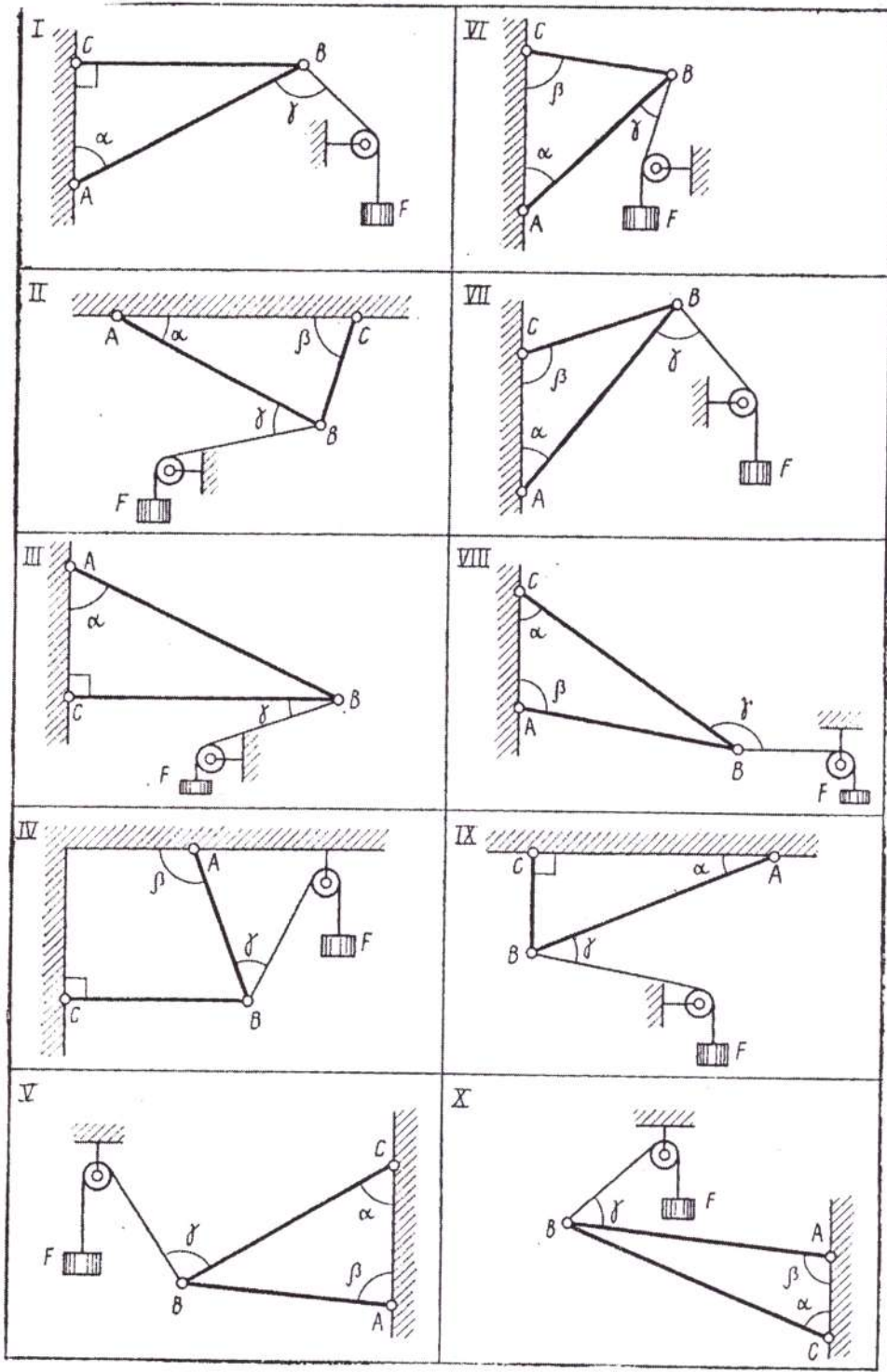


Рисунок 1. Расчётные схемы к задаче

## Практическое занятие №2

### Плоская система произвольно расположенных сил.

#### Определение главного вектора и главного момента плоской системы произвольно расположенных сил

**Цель работы:** научиться определять главный вектор и главный момент заданной системы сил относительно точки графическим и аналитическим методами.

**Порядок выполнения работы:**

1. Определить главный вектор и главный момент системы сил относительно точки аналитическим методом. Проверить расчёт главного вектора графическим методом (схема 1).
2. Определить главный вектор системы сил и её главный момент относительно центра квадрата  $O$  (схема 2). Задачу решить аналитическим методом. Проверить расчёт главного вектора графическим методом.
3. Сделать вывод

**Исходные данные для решения задач**

**Задача 1.**

К вершинам квадрата приложены шесть сил, как показано на схеме 1. Определить главный вектор и главный момент данной системы сил относительно точки (см. вариант). Определить угол между направлением главного вектора и положительным направлением оси  $X$ .

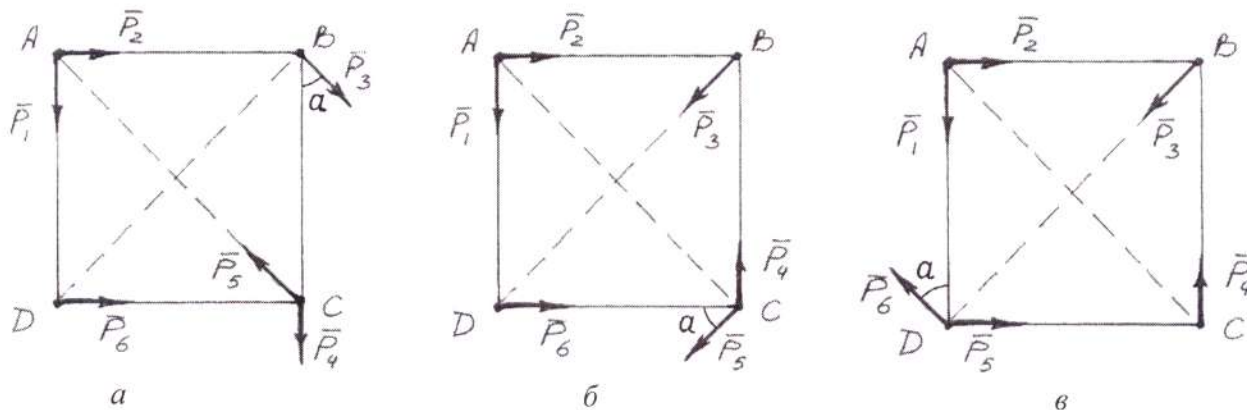


Схема 1

Таблица 1 – Исходные данные к задаче 1

Вариант	Схема для расчёта	Сторона квадрата, м	$P_1, Н$	$P_2, Н$	$P_3, Н$	$P_4, Н$	$P_5, Н$	$P_6, Н$	Точка	$\alpha, ^\circ$
1	<i>a</i>	1,0	100	40	113	100	113	120	A	35
2	<i>б</i>	1,5	150	20	126	150	120	200	B	37
3	<i>в</i>	2,0	200	60	150	300	200	60	C	39
4	<i>a</i>	2,5	130	30	115	150	162	40	D	41
5	<i>б</i>	3,0	170	25	118	170	118	160	A	44
6	<i>в</i>	1,0	100	40	113	100	113	120	B	46
7	<i>a</i>	1,5	150	20	126	150	120	200	C	48
8	<i>б</i>	2,0	200	60	150	300	200	60	D	50
9	<i>в</i>	2,5	130	30	115	150	162	40	A	49

Вариант	Схема для расчёта	Сторона квадрата, м	$P_1$ , Н	$P_2$ , Н	$P_3$ , Н	$P_4$ , Н	$P_5$ , Н	$P_6$ , Н	Точка	$\alpha$ , °
10	<i>a</i>	3,0	170	25	118	170	118	160	В	47
11	<i>б</i>	1,0	100	40	113	100	113	120	С	43
12	<i>в</i>	1,5	150	20	126	150	120	200	Д	41
13	<i>a</i>	2,0	200	60	150	300	200	60	А	39
14	<i>б</i>	2,5	130	30	115	150	162	40	В	37
15	<i>в</i>	3,0	170	25	118	170	118	160	С	35
16	<i>a</i>	1,0	100	40	113	100	113	120	Д	37
17	<i>б</i>	1,5	150	20	126	150	120	200	А	39
18	<i>в</i>	2,0	200	60	150	300	200	60	В	41
19	<i>a</i>	2,5	130	30	115	150	162	40	С	44
20	<i>б</i>	3,0	170	25	118	170	118	160	Д	46
21	<i>в</i>	2,5	130	30	115	150	162	40	А	48
22	<i>a</i>	3,0	170	25	118	170	118	160	В	50
23	<i>б</i>	1,0	100	40	113	100	113	120	С	49
24	<i>в</i>	1,5	150	20	126	150	120	200	Д	47
25	<i>a</i>	2,0	200	60	150	300	200	60	А	43
26	<i>б</i>	2,5	130	30	115	150	162	40	В	41
27	<i>в</i>	3,0	170	25	118	170	118	160	С	39

### Задача 2.

К вершинам квадрата со стороной  $a$  приложены силы, как показано на схеме 3. Определить главный вектор этой системы сил и её главный момент относительно центра квадрата  $O$ . Определить угол между направлением главного вектора и положительным направлением оси  $Y$ .

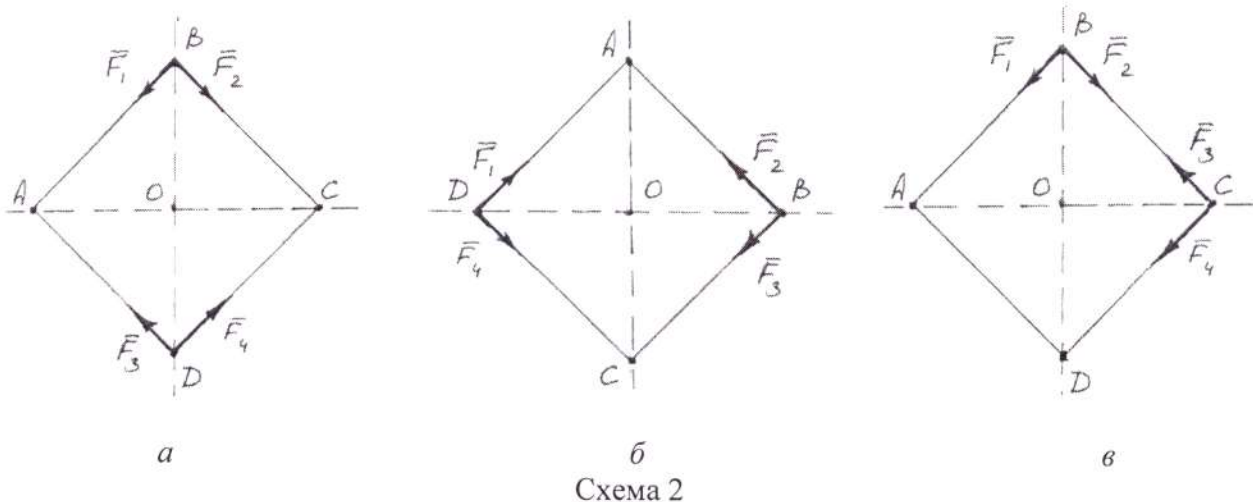


Таблица 3 – Исходные данные к задаче 2

Вариант	Схема для расчёта	$F_1$ , Н	$F_2$ , Н	$F_3$ , Н	$F_4$ , Н	$a$ , м
1	<i>a</i>	4	8	8	12	0,5
2	<i>б</i>	6	10	2	16	1
3	<i>в</i>	12	4	6	8	1,5
4	<i>a</i>	10	6	6	20	2
5	<i>б</i>	12	2	4	10	2,5
6	<i>в</i>	16	4	8	8	0,5
7	<i>a</i>	8	6	10	2	1

Продолжение таблицы 2

Вариант	Схема для расчёта	$F_1$ , Н	$F_2$ , Н	$F_3$ , Н	$F_4$ , Н	$a$ , м
8	<i>б</i>	20	12	4	6	1,5
9	<i>в</i>	10	10	6	6	2
10	<i>а</i>	8	12	2	4	2,5
11	<i>б</i>	8	16	4	8	0,5
12	<i>в</i>	2	8	6	10	1
13	<i>а</i>	6	20	12	4	1,5
14	<i>б</i>	6	10	10	6	2
15	<i>в</i>	4	2	12	2	2,5
16	<i>а</i>	8	8	16	4	0,5
17	<i>б</i>	10	2	8	6	1
18	<i>в</i>	4	6	20	12	1,5
19	<i>а</i>	6	6	10	10	2
20	<i>б</i>	2	4	4	8	2,5
21	<i>в</i>	4	8	4	12	0,5
22	<i>а</i>	6	10	6	16	1
23	<i>б</i>	12	4	2	8	1,5
24	<i>в</i>	10	6	8	20	2
25	<i>а</i>	16	2	10	10	2,5
26	<i>б</i>	8	8	8	12	0,5
27	<i>в</i>	20	10	2	16	1



## Практическое занятие №4

### Плоская система произвольно расположенных сил. Определение реакции в опорах балочных систем с проверкой правильности решения

**Цель работы:** научиться определять реакции опор в балочных системах, проводить проверку правильности решения

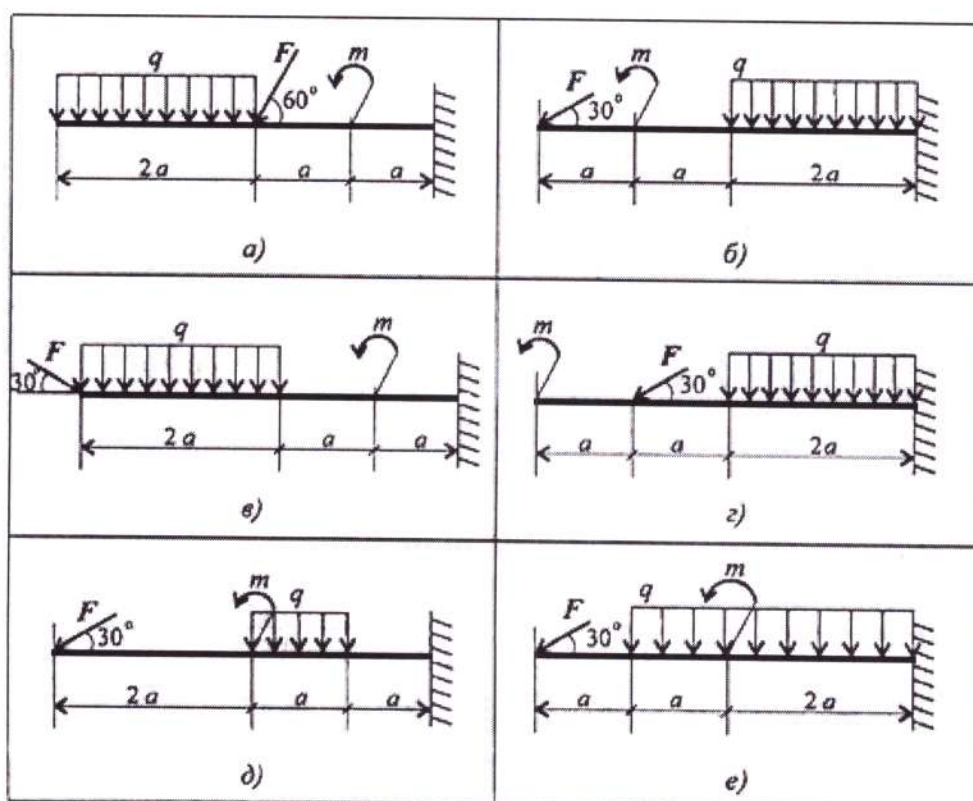
**Порядок выполнения работы:**

1. Определить, согласно таблице 1, задачи для решения
2. Решить задачи
3. Сделать вывод

Таблица 1 – Исходные данные

Вариант	№ задачи, схемы	№ исходных данных	Вариант	№ задачи, схемы	№ исходных данных	Вариант	№ задачи, схемы	№ исходных данных
1	1а, 4д	1	10	2д, 3г	10	19	1г, 4б	9
2	1б, 4а	2	11	1е, 4в	1	20	2г, 3в	10
3	2а, 3в	3	12	2е, 3в	2	21	1д, 4в	1
4	1в, 4б	4	13	1а, 4б	3	22	2д, 3д	2
5	2б, 3е	5	14	2а, 3б	4	23	2е, 3д	3
6	1г, 4е	6	15	1б, 4д	5	24	1е, 4г	4
7	2в, 3д	7	16	2б, 3а	6	25	2а, 3г	5
8	1д, 4д	8	17	1в, 4а	7	26	1а, 4е	6
9	2г, 3г	9	18	2в, 3а	8	27	2б, 3б	7

**Задание 1.** Определить величины реакций в заделке. Провести проверку правильности решения.

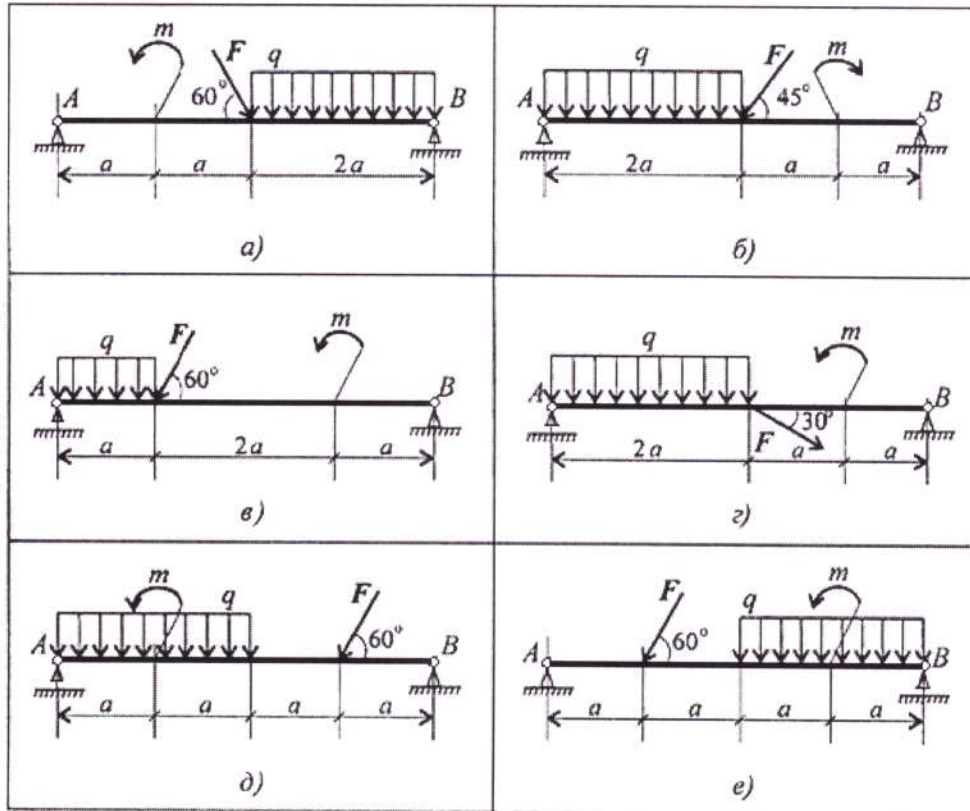


Схемы к заданию 1

Исходные данные к заданию 1

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F$ , кН	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
$q$ , кН/м	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
$m$ , кНм	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$a$ , м	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

**Задание 2.** Определить величины реакций в шарнирных опорах балки. Провести проверку правильности решения.



Схемы к заданию 2

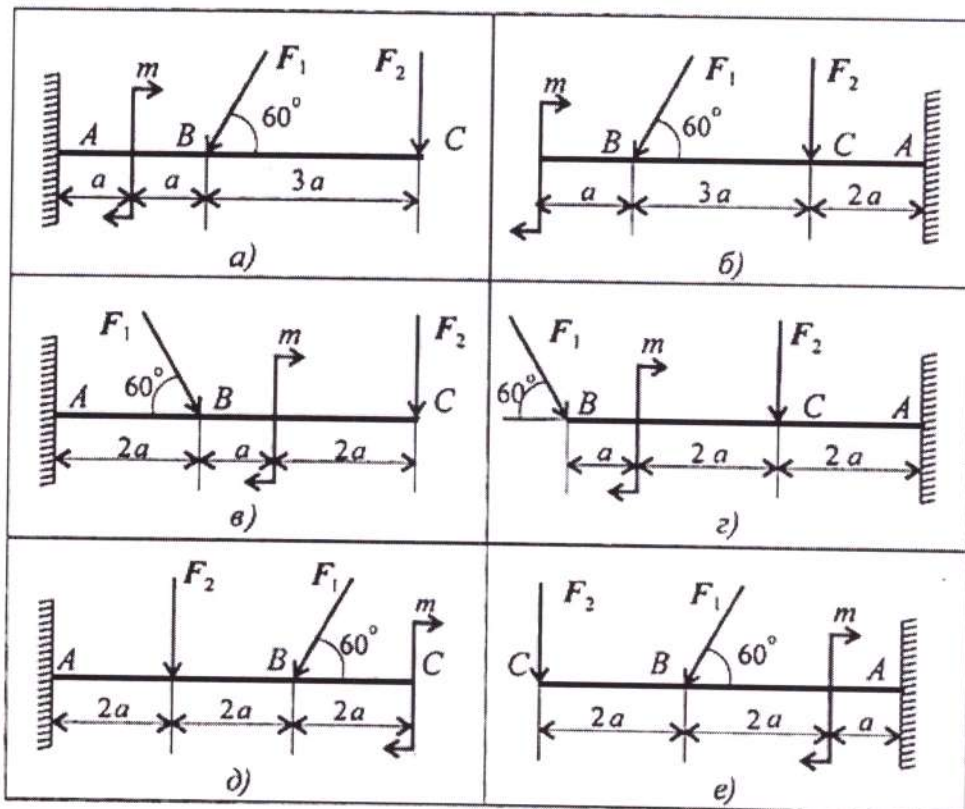
Исходные данные к заданию 2

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F$ , кН	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$q$ , кН/м	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4
$m$ , кНм	15	25	35	45	55	45	35	25	15	5
$a$ , м	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

**Задание 3.** Определить величины реакций в опоре защемлённой балки. Провести проверку правильности решения.

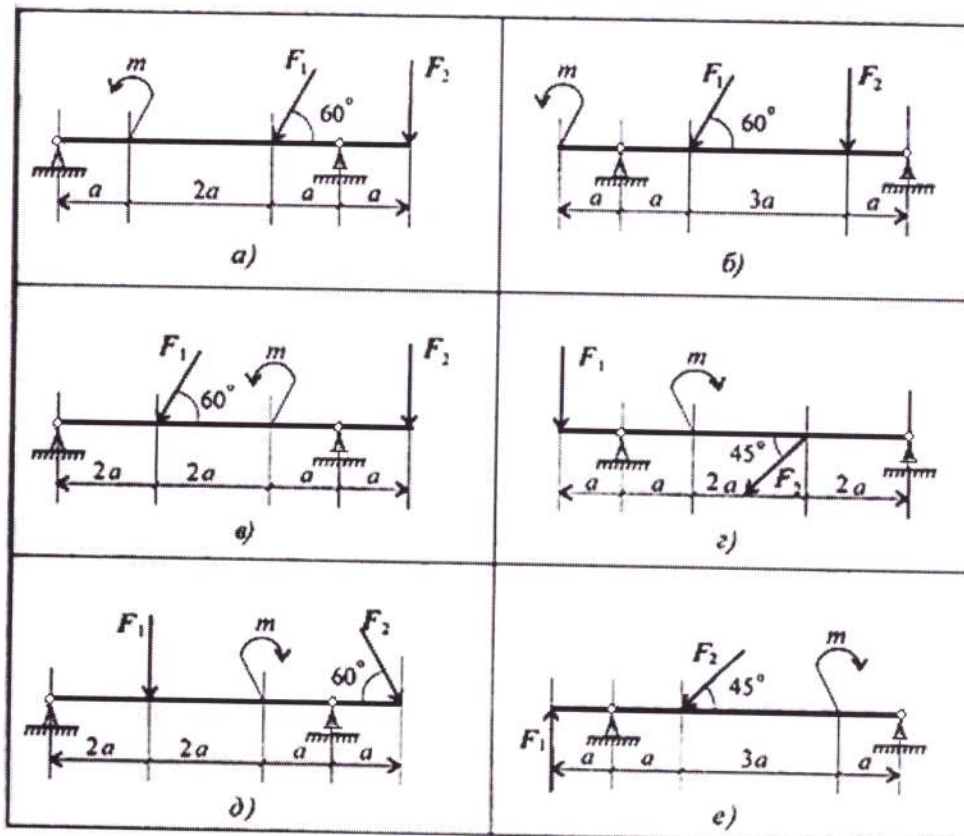
Исходные данные к заданию 3

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_1$ , кН	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
$F_2$ , кН	4,4	4,8	7,8	8,4	12	12,8	17	18	22,8	24
$m$ , кНм	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
$a$ , м	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6



Схемы к заданию 3

**Задание 4.** Определить величины реакций в шарнирных опорах балки. Провести проверку правильности решения.



Схемы к задаче 4

## Исходные данные к задаче 4

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_1$ , кН	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
$F_2$ , кН	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5
$m$ , кНм	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
$a$ , м	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

## Практическое занятие №5

### Определение положения центра тяжести плоских сложных фигур

**Цель работы:** научиться определять положение центра тяжести плоской сложной фигуры аналитическим путём.

#### Оборудование:

- Модели фигуры по вариантам;
- Измерительные инструменты;
- Чертёжные инструменты.

#### Теоретическое обоснование.

*Сила тяжести* – одно из проявлений закона всемирного тяготения. Это сила, распределённая по всему объёму или площади. Центр приложения параллельных сил тяжести всех частиц тела называется центром тяжести тела и обозначается ( $\bullet$ )  $C$  (centre).

Для плоской фигуры (которая предлагается в лабораторной работе) эта точка описывается двумя координатами  $C (X_c; Y_c)$ , где  $X_c$  – абсцисса, измеряемая параллельно оси  $OX$ , а  $Y_c$  – ордината, измеряемая параллельно оси  $OY$ .

Для плоских фигур, составленных из площадей, координаты центра тяжести определяют по формулам

$$X_c = \frac{\sum A_i \cdot X_i}{\sum A_i}; \quad (1)$$

$$Y_c = \frac{\sum A_i \cdot Y_i}{\sum A_i}, \quad (2)$$

где  $X_i$  – абсцисса центра тяжести каждой из составляющих фигур (мм, см, м)

$Y_i$  – ордината центра тяжести каждой из составляющих фигур (мм, см, м)

$A_i$  – площадь каждой из составляющих фигур (мм<sup>2</sup>, см<sup>2</sup>, м<sup>2</sup>)

Числители в формулах (1) и (2) называют статическими моментами плоской сложной фигуры относительно соответствующей оси и обозначают  $S_x$  и  $S_y$ .

$$S_x = \sum A_i \cdot Y_i; \quad (3)$$

$$S_y = \sum A_i \cdot X_i \quad (4)$$

#### Выполнение работы.

- Записать теоретическое обоснование;
- Выполнить чертёж фигуры сложной формы с расстановкой её размеров с соблюдением требований ГОСТ и ЕСКД (при необходимости применить масштаб и указать масштабный коэффициент);

- Провести оси координат так, чтобы они охватывали всю фигуру, и обозначить их;
- Разбить сложную фигуру на простые части, пронумеровать их (данные занести в таблицу 1);
- Указать положение центра тяжести каждой простой части и обозначить его в соответствии с номером простой части;
- Вычислить площадь каждой простой части в таблице 1 с записью расчётных формул и подстановкой измеренных данных;
- Вычислить координаты центра тяжести каждой простой части, относительно выбранной системы координат (данные занести в таблицу 1);
- Вычислить координаты центра тяжести всей фигуры аналитически по формулам (1) и (2);
- Отметить на чертеже положение центра тяжести фигуры сложной формы;
- Вычислить статические моменты плоской сложной фигуры по формулам (3) и (4);
- Сделать вывод.

Таблица 1 – Результаты расчётов.

№ фигуры	Наименование простой части сложной фигуры	Площадь простой части, мм <sup>2</sup> (см <sup>2</sup> )	Определение координат центра тяжести аналитическим способом	
			$X_i$ , мм (см)	$Y_i$ , мм (см)
1				
2				
3				

## Практическое занятие № 6

### Расчёт на прочность при растяжении и сжатии

**Цель занятия:** научиться определять продольную силу  $N$  и нормальное напряжение  $\sigma$  в сечении ступенчатого бруса (стержня) при действии на него нескольких внешних сил; научиться строить эпюры  $N$  и  $\sigma$ ; научиться определять перемещение свободного конца бруса (стержня) и строить эпюру абсолютных деформаций  $\Delta l$  по длине бруса.

**Задание:** трёхступенчатый стальной брус в соответствии с рисунком 1 нагружен силами  $F$ ,  $2F$  и  $3F$ . Построить эпюры продольных сил  $N$ , нормальных напряжений  $\sigma$  и абсолютных деформаций  $\Delta l$  по длине бруса. Определить перемещение свободного конца бруса, приняв  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа. Числовые значения  $F$ , а также площади поперечных сечений ступеней  $A$  для своего варианта взять из таблицы 1.

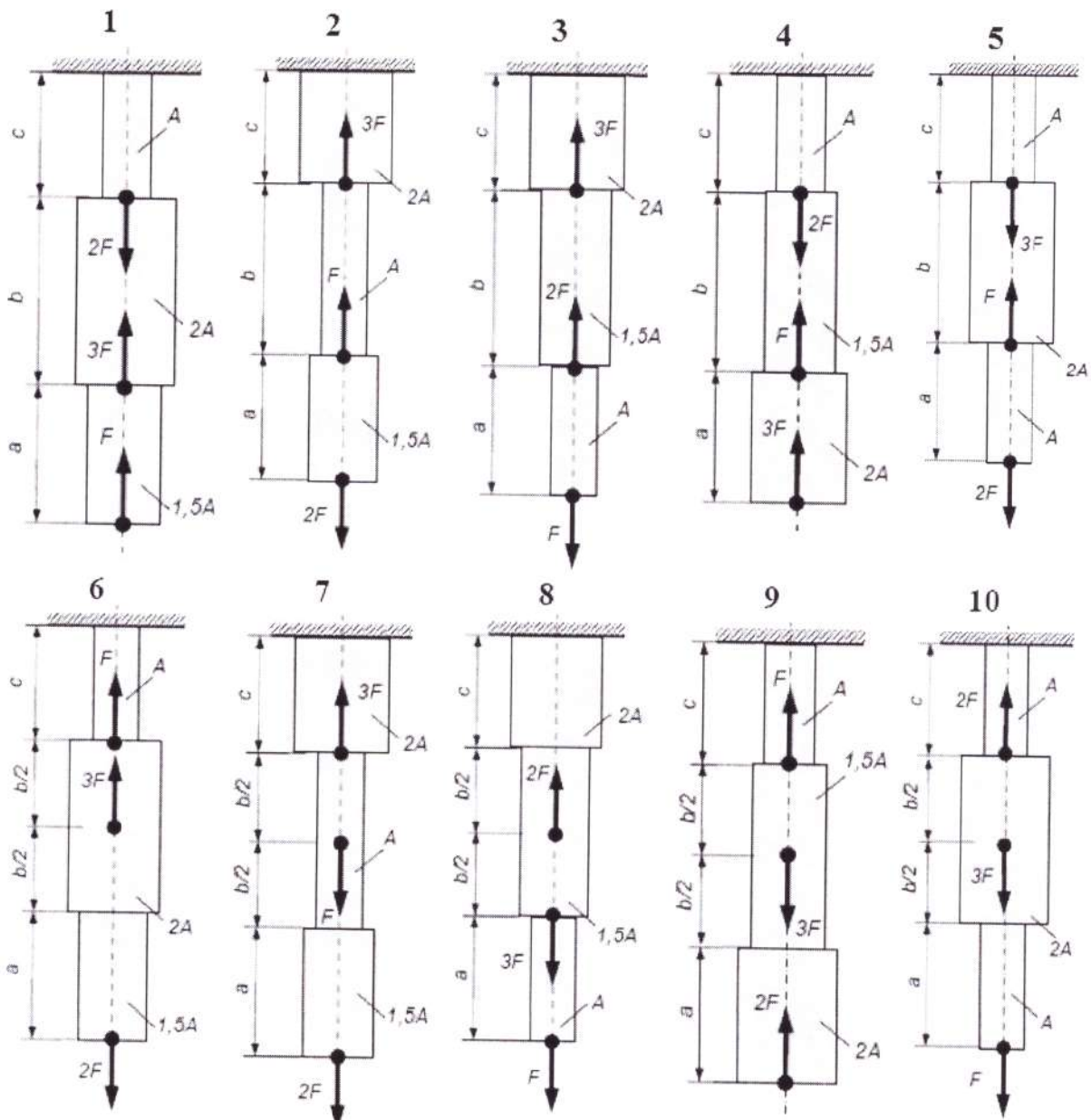


Рисунок 1. Схемы к практической работе № 6.

Таблица 1. Исходные данные для практического занятия № 6.

Номер схемы на рисунке 1	Вариант	a	b	c	F, кН	A, см <sup>2</sup>
		м				
1	1	0,2	0,5	0,4	20	2,2
	11	0,4	0,6	0,3	15	1,6
	21	0,3	0,5	0,3	16	1,8
2	2	0,25	0,4	0,3	16	2,4
	12	0,3	0,7	0,5	24	2,6
	22	0,15	0,36	0,24	19	1,7
3	3	0,14	0,6	0,4	20	2,2
	13	0,2	0,7	0,36	24	2,8
	23	0,3	0,6	0,4	15	1,6
4	4	0,12	0,5	0,3	14	1,8
	14	0,4	0,7	0,35	10	2,5
	24	0,2	0,45	0,28	28	2,4
5	5	0,36	0,5	0,6	15	1,8
	15	0,3	0,5	0,3	20	2,6
	25	0,4	0,6	0,5	28	2,7
6	6	0,25	0,6	0,4	15	2,2
	16	0,3	0,8	0,35	12	2,4
	26	0,4	0,7	0,3	22	1,9
7	7	0,2	0,5	0,32	15	2,3
	17	0,26	0,6	0,4	18	2,8
	27	0,3	0,7	0,5	24	1,7
8	8	0,3	0,6	0,4	25	2,6
	18	0,32	0,8	0,5	24	2,4
	28	0,18	0,7	0,4	16	2,7
9	9	0,4	0,7	0,36	25	1,8
	19	0,6	0,7	0,6	26	1,6
	29	0,25	0,6	0,3	17	2,0
10	10	0,16	0,6	0,4	25	2,8
	20	0,2	0,8	0,56	18	2,6
	30	0,4	0,6	0,5	26	1,4

**Последовательность выполнения задания:**

1. Брус разбить на участки и пронумеровать их. Границами участков являются точки приложения внешних сил и места изменения размеров поперечного сечения.
2. Определить значение продольной силы  $N$  на каждом участке и в масштабе построить эпюру.
3. Определить значения нормальных напряжений  $\sigma$  на каждом участке и в масштабе построить эпюру.
4. При построении эпюр положительные значения продольных сил и нормальных напряжений отложить вверх от базовой линии, отрицательные – вниз от базовой линии и провести прямые, параллельные оси эпюры.
5. Определить перемещения каждого участка балки, построить в масштабе соответствующую эпюру. Общее изменение длины бруса определяется как сумма изменений длин каждого участка в отдельности.
6. Сделать вывод о проделанной работе.



## Практическое занятие № 7

### Расчёты на прочность при срезе и смятии

**Цель работы:** научиться определять диаметр болта из условия прочности на срез и смятие

**Задание:** Подобрать диаметр болта, если допускаемое напряжение смятия для скрепляемых листовых деталей и болта  $[\sigma_{см}] = 100 - 120$  МПа, толщина детали  $\delta$ , ширина детали  $b$ , величина сил, прикладываемых к деталям  $P$  (см. таблицу исходных данных). Проверить на разрыв листовые детали по поперечному сечению, ослабленному отверстием, если  $[\sigma_p] = 150$  МПа. Принять допускаемое напряжение среза  $[\tau_{ср}] = (0,35 \dots 0,45)[\sigma_p]$  МПа.

Исходные данные

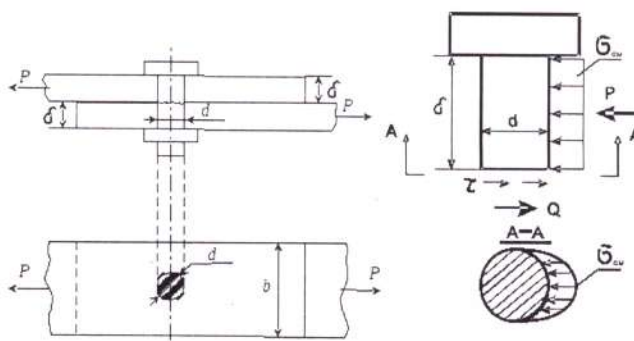
№ варианта	Толщина детали $\delta$ , см	Ширина детали $b$ , мм	Сила $P$ , кН	№ варианта	Толщина детали $\delta$ , см	Ширина детали $b$ , мм	Сила $P$ , кН
1	0,5	10	4,5	11	1,5	18	10
2	0,6	10	5,5	12	1,6	20	10,5
3	0,7	12	6,0	13	1,7	20	9,5
4	0,8	12	5,0	14	1,8	20	9,0
5	0,9	14	5,5	15	1,9	22	11,0
6	1,0	14	6,0	16	2,0	22	15,0
7	1,1	16	7,0	17	2,1	22	15,5
8	1,2	16	8,0	18	2,2	24	16,0
9	1,3	16	9,0	19	2,3	24	17,0
10	1,4	18	9,5	20	2,4	24	18,0

#### Ход работы:

1. Зарисовать расчётную схему;
2. Выполнить расчёт соединения на срез;
3. Выполнить расчёт соединения на смятие;
4. Подобрать болт, удовлетворяющий обоим условиям прочности;
5. Проверить соединённые детали на разрыв;
6. В случае несовпадения каких-либо параметров рассчитать необходимые размеры соединения.
7. Сделать вывод.

#### Выполнение работы:

Листы, растягиваемые силами  $P$ , срезают болт и оказывают распределённое давление по контактной поверхности. Болт необходимо рассчитывать на срез и смятие, листы, которые он стягивает - на растяжение.



## 1. Расчёт на срез.

Методом сечений находим, что поперечная сила  $Q = P$ .

Условие прочности на срез имеет вид

$$\tau = Q/A_{ср} \leq [\tau_{ср}]$$

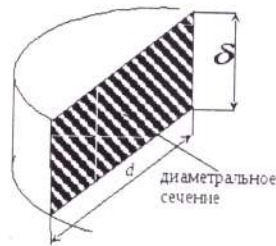
Выразить и определить  $A_{ср}$  из условия прочности на срез Диаметр болта определить из условия  $A_{ср} = (\pi \cdot d^2)/4$

## 2. Расчёт на смятие.

Поверхность болта – цилиндрическая. Закон распределения давления по поверхности болта точно не известен, принимается криволинейный закон и максимальное напряжение смятия на цилиндрических поверхностях вычисляется по формуле

$$\sigma_{см} = \frac{P}{A_{см}},$$

где  $A_{см}$  – площадь проекции поверхности контакта на диаметрально плоскость



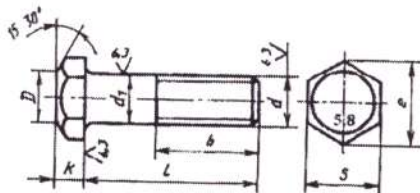
Таким образом, условие прочности на смятие имеет вид

$$\sigma_{см} = \frac{P}{A_{см}} \leq [\sigma_{см}]$$

Выразить и определить  $A_{см}$  из условия прочности.

Диаметр болта определить из условия  $A_{см} = d \cdot \delta$

## 3. Подобрать болт, удовлетворяющий обоим условиям прочности



d	6	8	10	12	14	16	20	22	24	27
шаг резьбы	1	1.25	1.5	1.75	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	27

## 4. Проверка соединённых деталей на разрыв

Рассматривая напряжение растяжения по сечению, которое ослаблено болтовым отверстием, получим условие прочности для листовой детали

$$\sigma_p = \frac{P}{(b-d) \cdot \delta} \leq [\sigma_p]$$

- 5. В случае несовпадения каких-либо параметров рассчитать необходимые размеры соединения.**
- 6. Сделать вывод о пригодности данного болтового соединения**

## Практическое занятие № 8

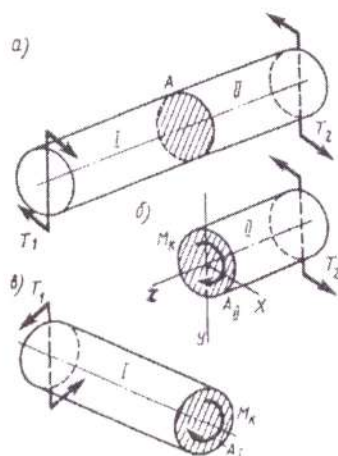
### Расчёт на прочность при кручении

**Цель работы:** научиться определять диаметр вала из условий прочности и жёсткости при кручении

**Условие задачи:** Определить диаметр вала для передачи мощности  $P$  при частоте вращения  $n$ , если  $[\tau_k]=30\text{Н/мм}^2$  и  $[\varphi_0]=0,3$  град/м,  $G=0,8 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$

Исходные данные

№ варианта	$P$ , кВт	$n$ , об/мин	№ варианта	$P$ , кВт	$n$ , об/мин	№ варианта	$P$ , кВт	$n$ , об/мин
1	20	3000	10	55	1600	19	54	1450
2	23	2800	11	60	1500	20	48	1480
3	25	2600	12	65	1400	21	44	1530
4	29	2400	13	70	1200	22	38	1650
5	32	2200	14	75	900	23	34	1750
6	35	2100	15	72	950	24	30	1900
7	40	2000	16	66	1100	25	28	2150
8	45	1850	17	62	1300	26	24	2500
9	50	1700	18	58	1000	27	15	3020



#### Выполнение работы:

1. При передаче заданной мощности вал нагружен двумя скручивающими моментами (см. рис.), каждый из которых определяют по формуле

$$T_1 = T_2 = P/\omega,$$

где  $P$  – передаваемая мощность;

$\omega$  – угловая скорость ( $\omega = \pi n / 30$ );

$n$  – частота вращения вала.

В любом сечении вала между приложенными к нему внешними моментами, соответственно  $T_1$  и  $T_2$  (см. рис.) крутящий момент  $M_k$  равен любому из них, т.е.

$$M_k = T_1 = T_2$$

2. Определим диаметр  $d_n$  вала из условия прочности.

Выразив крутящий момент  $M_k$  в Н·мм, по расчётной формуле находим требуемый полярный момент сопротивления сечения

$$W_p = M_k / [\tau_k]$$

Из формулы  $W_p = \pi d_p^3 / 16$  находим диаметр вала, удовлетворяющий условию прочности.

3. Определяем диаметр  $d_{ж}$  вала из условия жесткости.

По формуле  $[\varphi_0] = \pi [\varphi_0^\circ] / 180$  находим допускаемый угол закручивания в радианах.

По формуле находим требуемый полярный момент инерции сечения

$$I_p = M_k / (G[\varphi_0])$$

Из формулы  $I_p = \pi d_{ж}^4 / 32$  находим диаметр вала, удовлетворяющий условию жёсткости.

4. Выбрать диаметр вала, удовлетворяющий обоим условиям. Написать ответ к задаче

5. Сделать вывод

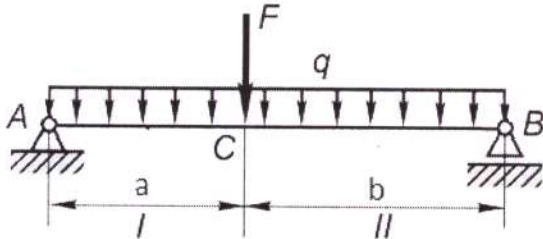
## Практическое занятие № 9

### Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов

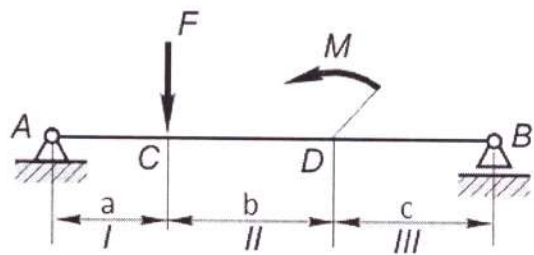
**Цель работы:** научиться строить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов

**Исходные данные:** Построить эпюры  $Q_y$  и  $M_z$  для двухопорной балки, нагруженной, как показано на рис. 1. Исходные данные выбрать согласно таблице.

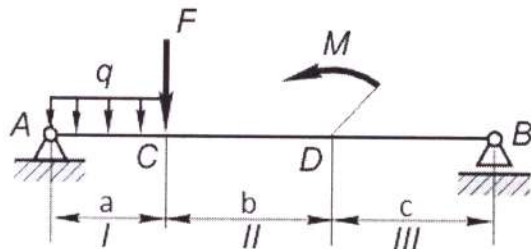
а)



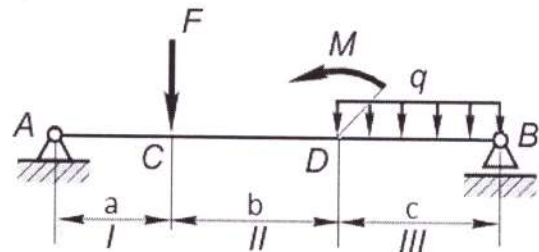
б)



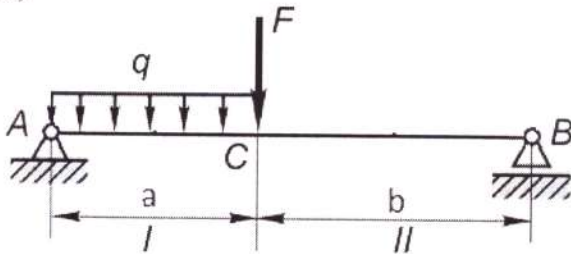
в)



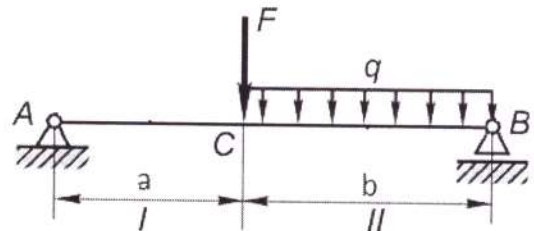
г)



д)



е)



ж)

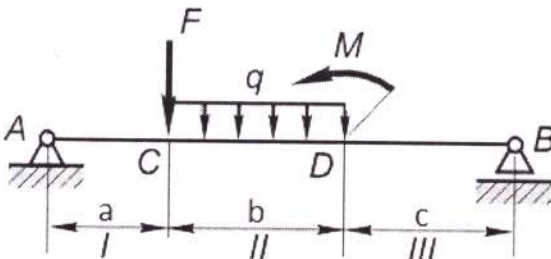


Рис. 1 Расчётная схема

Исходные данные

Вариант	Расчетная схема	F, кН	M, кНм	q, кН/м	a, м	b, м	c, м
1	ж	5	8	2	1	2	2
2	е	6	-	4	2	3	-
3	д	7	-	3	3	4	-
4	г	3	6	4	2	2,5	2,5
5	в	2	3	1	1	1,5	1,5
6	б	1	7	-	2	4	4
7	а	4	-	6	4	5	-

Вариант	Расчетная схема	F, кН	M, кНм	q, кН/м	a, м	b, м	c, м
8	а	2	-	3	3	4	-
9	б	3	5	-	1,5	2	2
10	в	6	6	6	2	3	3
11	г	4	3	1	5	7	7
12	д	9	-	5	3	5	-
13	е	10	-	1	4	6	-
14	ж	3	3	3	2	2,5	2,5
15	ж	4	2	6	3	5	5
16	е	1	-	1	2	3	-
17	д	2	-	3	4	5	-
18	г	1	2	3	4	5	6
19	в	2	2	4	2,5	3,5	3,5
20	б	4	6	-	10	12	12
21	а	8	-	4	2	3	-
22	а	5	-	3	5	8	-
23	б	6	7	-	7	9	9
24	в	1	8	3	2	2,5	2,5
25	г	6	12	9	10	12	12
26	д	4	-	3	6	7	-
27	е	3	-	3	3	3,5	-
28	ж	6	7	3	2	4,5	4,5

### Порядок выполнения работы:

1. Определить реакции опор  $R_A$  и  $R_B$ .
2. Разбить балку на участки. Характерными являются сечения А, С, D и В (рис. б, в, г, ж), сечения А, С и В (рис. а, д, е).
3. Применяя метод сечений, определить значения поперечных сил на каждом участке. По полученным данным строим эпюру  $Q_y$ .
4. Применяя метод сечений, вычислить значения изгибающих моментов в характерных сечениях. При этом каждый раз необходимо рассматривать равновесие левой отсеченной части (можно рассматривать правую часть или ту и другую части поочередно - результаты будут те же). По полученным данным строим эпюру  $M_z$ .
5. Определить по эпюре максимальное значение поперечной силы и изгибающего момента
6. Сделать вывод

## Практическое занятие № 10

### Изучение конструкции цилиндрического редуктора

**Цель работы:** ознакомиться с конструкцией редуктора и назначением его деталей, составлением кинематической схемы реального зубчатого редуктора, способами определения основных параметров зубчатых пар путем их замера и расчёта.

#### Оборудование:

- Цилиндрический одноступенчатый редуктор с косозубыми колесами
- Измерительные инструменты (линейка, штангенциркуль, угломер универсальный)
- Учебник Лукьянов А.М., Лукьянов М.А. Техническая механика. М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014 (стр 594 – 597, 600-602, 625)

#### Ход работы:

1. Основные сведения о зубчатых передачах
2. Определение основных геометрических и кинематических параметров зубчатого зацепления
3. Изображение кинематической схемы редуктора в масштабе
4. Вывод о проделанной работе

#### Выполнение работы:

##### 1. Основные сведения о зубчатых передачах

Зубчатые передачи – наиболее распространенный тип передач в современном транспортном машиностроении. В большинстве случаев зубчатая передача служит для \_\_\_\_\_.

Передачу движения с помощью зубьев принято называть \_\_\_\_\_.

Основные достоинства зубчатых передач:

- \_\_\_\_\_;
- \_\_\_\_\_;
- \_\_\_\_\_;
- \_\_\_\_\_;
- \_\_\_\_\_;
- \_\_\_\_\_;
- \_\_\_\_\_;

Недостатки зубчатых передач:

- \_\_\_\_\_;
- \_\_\_\_\_;



- \_\_\_\_\_;
- \_\_\_\_\_;
- \_\_\_\_\_;
- \_\_\_\_\_.

Классификация зубчатых передач:

- По характеру движения осей:

- \_\_\_\_\_;

- \_\_\_\_\_.

- По взаимному расположению осей:

- \_\_\_\_\_;

- \_\_\_\_\_;

- \_\_\_\_\_;

- \_\_\_\_\_.

• По относительному расположению поверхностей вершин и впадин зубьев колёс:

- \_\_\_\_\_;

- \_\_\_\_\_.

• По направлению зубьев, оцениваемому по расположению линии зубьев:

- \_\_\_\_\_;

- \_\_\_\_\_.

- По профилям зубьев:

- \_\_\_\_\_;

- \_\_\_\_\_;

- \_\_\_\_\_.

В зависимости от назначения зубчатые передачи могут встраиваться в конструкцию машины или выделяться в самостоятельный узел и иметь отдельный корпус. Открытые передачи работают без смазывания или при ограниченном смазывании и небольших окружных скоростях, их называют \_\_\_\_\_; закрытыми выполняют обычно передачи, работающие при средних и высоких окружных скоростях с обильным смазыванием, и их называют \_\_\_\_\_.

Зубчатые передачи могут понижать или повышать частоту вращения ведомого вала. В понижающей передаче частота вращения ведомого вала (колеса) \_\_\_\_\_ частоты вращения ведущего вала (колеса), а в повышающей – \_\_\_\_\_.

Агрегат с понижающей передачей называют \_\_\_\_\_, агрегат с повышающей передачей – \_\_\_\_\_.

Одноступенчатая зубчатая передача состоит из \_\_\_\_\_.

Меньшее по числу зубьев из пары колес называют \_\_\_\_\_, а большее – \_\_\_\_\_.

Основные параметры зубчатого зацепления:

- $d_a$  – \_\_\_\_\_;

- $d_f$  – \_\_\_\_\_;
- $d_w$  – \_\_\_\_\_;
- $d_b$  – \_\_\_\_\_;
- $d$  – \_\_\_\_\_;
- $p_t$  – \_\_\_\_\_;
- $p_n$  – \_\_\_\_\_;
- $h$  – \_\_\_\_\_;
- $h_a$  – \_\_\_\_\_;
- $c$  – \_\_\_\_\_;
- $b$  – \_\_\_\_\_;
- $e_t$  – \_\_\_\_\_;
- $s_t$  – \_\_\_\_\_;
- $a_w$  – \_\_\_\_\_;
- $a$  – \_\_\_\_\_;
- $z$  – \_\_\_\_\_.

Косозубые зубчатые передачи предназначены для \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_. У косозубых колёс оси зубьев располагаются \_\_\_\_\_, составляющей с образующей угол  $\beta = 8-15^\circ$ .

## 2. Определение основных геометрических и кинематических параметров зубчатого зацепления

Путём замеров и расчётов определить основные геометрические и кинематические параметры зубчатого зацепления, полученные данные занести в таблицу 1. Модуль нормальный  $m_n$  округлить до ближайшего значения по ГОСТ. Предпочтительный ряд: 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16.

Таблица 1 – Результаты измерений и вычислений параметров зубчатых колес.

Наименование величины и размерность	Определение	Обозначение	Способ определения, измерительный инструмент	Результат измерений и вычислений
Число зубьев шестерни, шт.	-	$z_1$	сосчитать	
Число зубьев колеса, шт.	-	$z_2$	сосчитать	
Угол профиля	-	$\alpha$	$20^\circ$	$20^\circ$
Передаточное число	-	$u$	$u = \frac{z_2}{z_1}$	
Межосевое расстояние, мм	_____	$a_w$	измерить с помощью _____	
Модуль нормальный, мм	_____	$m_n$	$m_n = \frac{2a_w}{z_1 + z_2}$	
Окружной (торцовый) модуль	_____	$m_t$	$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}$	

Угол наклона линии зуба	-	$\beta$	$\beta = \arccos \frac{m_n \cdot (z_1 + z_2)}{2a_w}$	
Диаметр делительных окружностей, мм	-	$d_1$ $d_2$	$d_1 = m_i \cdot z_1$ $d_2 = m_i \cdot z_2$	
Диаметр вершин зубьев, мм	-	$d_{a1}$ $d_{a2}$	$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m_n$ $d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m_n$	
Диаметр впадин зубьев, мм	-	$d_{f1}$ $d_{f2}$	$d_{f1} = m_i \cdot z_1 - 2,5 \cdot m_n$ $d_{f2} = m_i \cdot z_2 - 2,5 \cdot m_n$	
Ширина венцов колес, мм (измеренная)	_____	$b_{w1}$ $b_{w2}$	измерить с помощью _____	
Высота зуба, мм	_____	$h$	$h = 2,25 \cdot m_n$	
Наименование величины и размерность	Определение	Обозначение	Способ определения, измерительный инструмент	Результат измерений и вычислений
Высота ножки зуба, мм	_____	$h_f$	$h_f = m_n$	
Высота головки зуба, мм	_____	$h_a$	$h_a = 1,25 m_n$	
Радиальный зазор, мм	_____	$c$	$c = h_a - h_f$	
Длина зуба, мм	-	$b$	$b = m_n \psi_m, (\psi_m = 10 \dots 20)$	
Ширина венцов колес, мм (расчетная)	-	$b_w$	$b_w = b \cos \beta$	

### 3. Изображение кинематической схемы редуктора в масштабе

На рисунках 1 и 2 показаны кинематические схемы одноступенчатых редукторов.

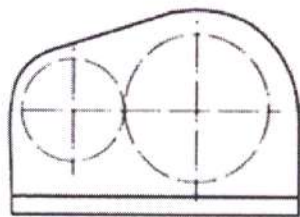


Рисунок 1. Схема цилиндрического одноступенчатого горизонтального редуктора.

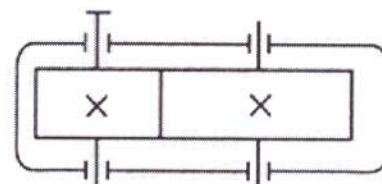
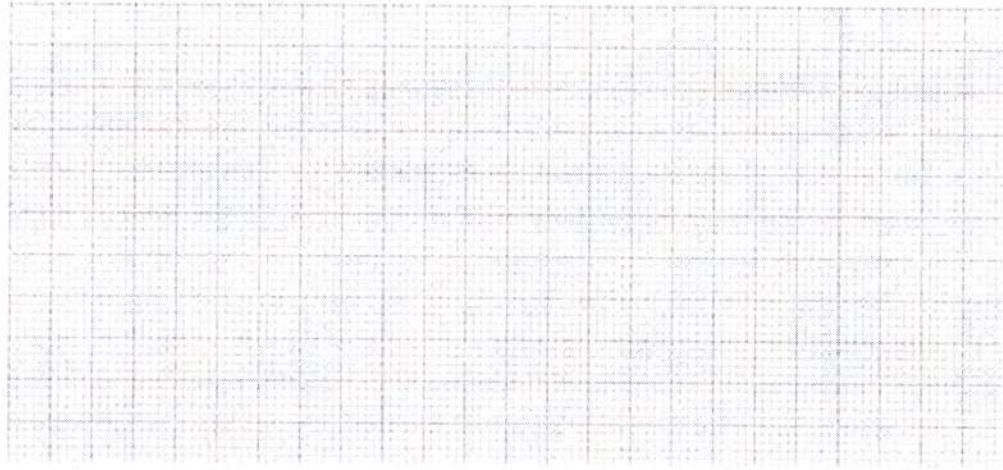


Рисунок 2. Схема цилиндрического одноступенчатого вертикального редуктора.

По результатам вычислений вычертить кинематическую схему редуктора в масштабе (см. рисунок 2).



**4. Вывод о проделанной работе**

**Вывод:**

---

---

---

## Практическое занятие № 11

### Изучение конструкции червячного редуктора.

**Цель работы:** ознакомиться с конструкцией червячного редуктора и назначением его деталей; определить основные параметры червячной пары путём замера и расчёта; изучить способы регулировки червячной пары.

#### Оборудование:

- Червячный редуктор
- Измерительные инструменты (линейка, штангенциркуль, угломер универсальный)
- Учебник Лукьянов А.М., Лукьянов М.А. Техническая механика. М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014 (стр 580-582)

#### Теоретическое обоснование.

Червячная передача представляет собой \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_. Она предназначена \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

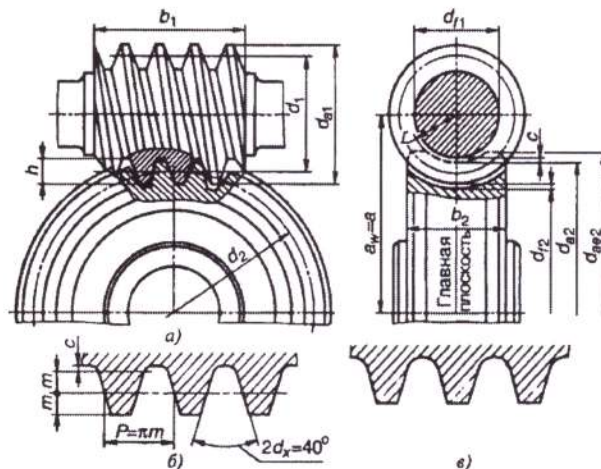


Рисунок 1. Червячная передача:

а – схема; б – осевое сечение архимедова червяка;

в – осевое сечение червяка с вогнутыми боковыми поверхностями.

Виды червячных передач: \_\_\_\_\_.

По расположению червяка относительно колеса различают передачи \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_.

В зависимости от формы профиля витка различают червяки \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_.

Архимедов червяк – \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_.

Эвольвентный червяк имеет \_\_\_\_\_

Конволютный червяк – \_\_\_\_\_

Основные достоинства червячных передач:

- \_\_\_\_\_ ;
- \_\_\_\_\_ ;
- \_\_\_\_\_ ;
- \_\_\_\_\_ ;

Недостатки зубчатых передач:

- \_\_\_\_\_ ;
- \_\_\_\_\_ ;
- \_\_\_\_\_ ;
- \_\_\_\_\_ ;

Существенное отличие червячной передачи от зубчатой заключается в том, что окружные скорости червяка и колеса не совпадают ни по величине, ни по направлению. Червячные передачи имеют следующие особенности:

- передаточное число не может быть выражено отношением диаметров  $u = d_2/d_1$  ;
- начальные окружности не перекрываются, а скользят.

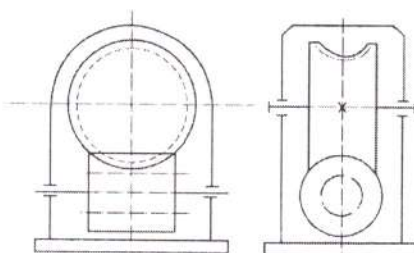


Рисунок 2. Кинематическая схема червячного редуктора.

Скорость скольжения передачи весьма значительна. Большое скольжение в червячных передачах вызывает повышенный износ и склонность к заеданию. Кроме того, долговечность, несущая способность и к.п.д. червячных передач зависит от величины и равномерности контактной площадки зацепления, которая наряду с деформацией червяка и точностью изготовления зубьев колеса и витков червяка зависит от правильного взаимного расположения элементов зацепления, обеспечиваемого при монтаже.

### Выполнение работы:

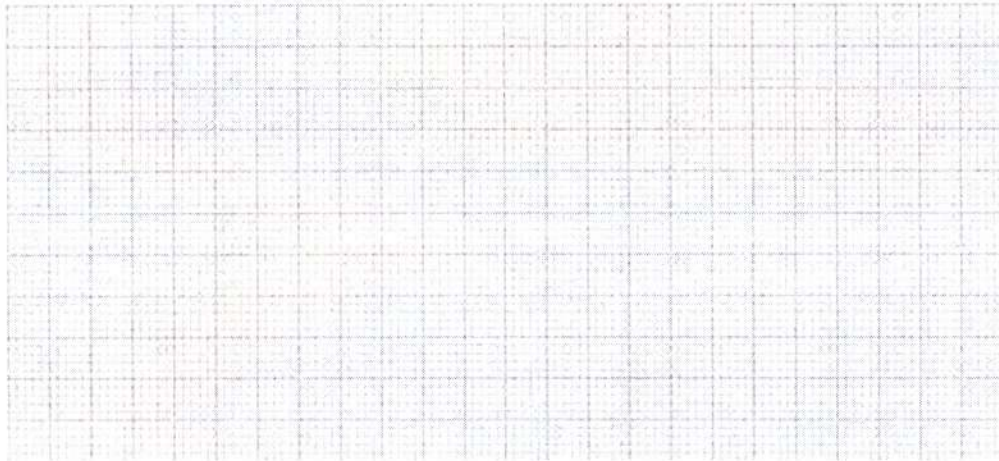
1. Произвести внешний осмотр редуктора, изучить конструкцию корпуса и назначение деталей.
2. Замерить 2-3 раза расстояние между осями валов и округлить его до ближайшего стандартного по ГОСТ, если оно лежит в пределах последнего. Величину межосевого расстояния занести в таблицу 1. Межосевые расстояния  $a_w$  должны соответствовать значениям:
  - 1-ый ряд: 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400 мм;
  - 2-ой ряд: 45, 56, 71, 90, 112, 140, 180, 224, 280, 355, 450, 500 мм.Значения ряда 1 следует предпочитать значениям ряда 2.
3. Ознакомиться с внутренним устройством редуктора. Обратит внимание на способ смазки зацепления и подшипников и на способ регулировки подшипников и правильности зацепления пары.
4. Ознакомиться с конструкцией колеса и червяка. Путем замера и расчета определить их размеры и параметры, полученные данные занести в таблицу 1. Значение осевого модуля необходимо также округлить до ближайшего по ГОСТ. Модули  $m$  цилиндрических червячных передач в мм, определяемые в осевом сечении червяка, приведены ниже:
  - 1-ый ряд: 0,1; 0,125; 0,16; 0,20; 0,25; 0,315; 0,40; 0,50; 0,63; 0,80; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0;
  - 2-ой ряд: 0,12; 0,15; 0,30; 0,60; 1,5; 3,0; 3,5; 6,0; 7,0; 12,0;
  - 3-ий ряд: 0,9; 1,125; 1,375; 1,75; 2,25; 2,75; 4,5; 9,0; 11,0; 14,0; 18,0; 22,0.1-ый ряд следует предпочитать 2-му. Модули 3-го ряда применяются в технически обоснованных случаях для нормализованных редукторов общего применения.

Таблица 1 – Результаты измерений и вычислений параметров зубчатых колес.

Наименование величины и размерность	Обозначение	Способ определения	Результат измерений и вычислений
Межосевое расстояние, мм	$a_w$	измерить	
Число заходов червяка, шт.	$z_1$	сосчитать	
Число зубьев колеса, шт.	$z_2$	сосчитать	
Передаточное число	$u$	$u = \frac{z_2}{z_1}$	
Диаметр вершин зубьев, мм	$d_{a1}$ $d_{a2}$	измерить измерить	
Наибольший диаметр червячного колеса, мм	$d_{ae2}$	$d_{ae2} \leq d_2 + \frac{6m}{z_1 + K}$ , здесь $K = 2,0$ .	
Осовой шаг червяка, мм	$p$	измерить	
Осовой модуль, мм	$m$	$m = \frac{p}{\pi}$	
Диаметр делительной окружности червяка, мм	$d_1$	$d_1 = d_{a1} - 2 \cdot m$	
Диаметр делительной окружности колеса, мм	$d_2$	$d_2 = m \cdot z_2$	

Диаметр впадин зубьев, мм	$d_{f1}$ $d_{f2}$	$d_{f1} = d_1 - 2,4 \cdot m$ $d_{f2} = d_2 - 2,4 \cdot m$	
Радиус выемки, мм	$r_k$	$r_k = 0,5 \cdot d_1 - h_{a1}^* \cdot m$ , здесь $h_{a1}^* = 1,0$ .	
Длина нарезанной части червяка, мм	$b_1$	измерить	
Ширина венца колеса, мм	$b_2$	измерить	
Условный угол обхвата	$2\delta$	$\delta = \arcsin \frac{b_2}{d_{a1} - 0,5 \cdot m}$	$\delta =$ $2\delta =$

5. По результатам вычислений вычертить кинематическую схему редуктора в масштабе (см. рисунок 2).



**Вывод:**

---



---



---



---



---